

Rec'd PTO 10 DEC 2004

PCT/JP03/07433

日本国特許庁

JAPAN PATENT OFFICE

04.07.03

10/516306
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2002年 6月11日

出願番号

Application Number:

特願2002-170429

[ST.10/C]:

[JP2002-170429]

出願人

Applicant(s):

古河電気工業株式会社

REC'D 25 JUL 2003

WIPO

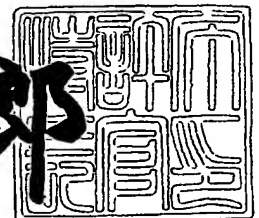
PCT

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 6月17日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



BEST AVAILABLE COPY

出証番号 出証特2003-3047136

【書類名】 特許願

【整理番号】 A11312

【提出日】 平成14年 6月11日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02F 1/00
G02F 1/35

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号 古河電気工業株式会社内

【氏名】 松下 俊一

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号 古河電気工業株式会社内

【氏名】 並木 周

【特許出願人】

【識別番号】 000005290

【氏名又は名称】 古河電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100090022

【弁理士】

【氏名又は名称】 長門 侃二

【電話番号】 03-3459-7521

【選任した代理人】

【識別番号】 100116447

【弁理士】

【氏名又は名称】 山中 純一

【電話番号】 03-3459-7521

【選任した代理人】

【識別番号】 100120592

【弁理士】

【氏名又は名称】 山崎 崇裕

【電話番号】 03-3459-7521

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 007537

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 波長分割多重光再生システム及び波長分割多重光再生方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 信号光に非線形光学効果を利用した再生処理を施す波長分割多重光再生システムであって、

互いに波長の異なる複数の信号光を含む波長分割多重光を前記波長毎に分波する分波装置と、

分波された前記複数の信号光のうち少なくとも一つの信号光の偏光状態を前記非線形光学効果に適した所望の偏光状態に偏光変換する偏波コンバータと、

偏光変換された前記信号光に前記再生処理を施す再生装置とを具備したことを特徴とする波長分割多重光再生システム。

【請求項2】 前記再生装置の出射側に、再生処理が施された前記信号光を他の複数の信号光と合波して波長分割多重光とする合波装置を含む請求項1の波長分割多重光再生システム。

【請求項3】 前記偏波コンバータは、入射した信号光を直線偏光へと偏光変換して出射させる偏光変換部と、前記偏光変換部から出射した信号光を透過させ、前記信号光の偏光度を高める偏光子と、前記偏光子を透過した信号光の強度を検出するためのパワーメータと、前記パワーメータの検出結果に基づき前記偏光変換部の偏光変換をフィードバック制御する制御部とを含む請求項1または2の波長分割多重光再生システム。

【請求項4】 前記偏光変換部は、信号光が伝搬する光路上に順に配置された第1の $\lambda/4$ 波長板と、 $\lambda/2$ 波長板と、第2の $\lambda/4$ 波長板と、前記 $\lambda/4$ 波長板及び $\lambda/2$ 波長板にそれぞれ装着され、前記 $\lambda/4$ 波長板若しくは $\lambda/2$ 波長板の進相軸及び遅相軸の方位を回転させる回転手段とを含み、前記制御部はパワーメータの検出結果が最大値となるよう前記回転手段を介して前記 $\lambda/4$ 波長板及び $\lambda/2$ 波長板を回転させる請求項3の波長分割多重光再生システム。

【請求項5】 前記再生装置は、増幅装置、波形再生装置、クロック再生装置及び雑音除去装置よりなる群のうちいずれか一つを含む請求項1～4のいずれかの波長分割多重光再生システム。

【請求項6】 前記再生装置は前記増幅装置を含み、前記増幅器が、エルビウム添加ファイバー型増幅器、ラマン増幅器、半導体光増幅器及びパラメトリック光増幅器よりなる群のうちいずれか一つである請求項5の波長分割多重光再生システム。

【請求項7】 前記再生装置は前記波形再生装置を含み、前記波形再生装置は、制御光若しくは励起光の発生装置を有し、前記信号光は該制御光若しくは励起光との間で生じる前記非線形光学効果により波形再生される請求項5または6の波長分割多重光再生システム。

【請求項8】 前記波形再生装置にて用いられる制御光若しくは励起光は直線偏光を含み、この直線偏光と、前記偏波コンバータにより偏光変換された前記信号光との間では、偏光面が互いに平行である請求項7の波長分割多重光再生システム。

【請求項9】 前記波形再生装置に含まれる制御光若しくは励起光の発生装置が、櫛型分散配置ファイバーにより圧縮された光パルス光源、ファイバ型圧縮装置により圧縮された光パルス光源、スーパーコンティニューム光源、ファイバーリング光源及びソリトンレーザよりなる群のうちいずれか一つである請求項8の波長分割多重光再生システム。

【請求項10】 前記再生装置は前記クロック再生装置を含み、前記クロック再生装置は、制御光若しくは励起光の発生装置を有し、前記信号光は該制御光若しくは励起光との間で生じる前記非線形光学効果によりクロック再生される請求項5～9のいずれかの波長分割多重光再生システム。

【請求項11】 前記クロック再生装置にて用いられる制御光若しくは励起光は直線偏光を含み、この直線偏光と、前記偏波コンバータにより偏光変換された前記信号光との間では、偏光面が互いに平行である請求項10の波長分割多重光再生システム。

【請求項12】 前記クロック再生装置に含まれる制御光若しくは励起光の発生装置が、櫛型分散配置ファイバーにより圧縮された光パルス光源、ファイバ型圧縮装置により圧縮された光パルス光源、スーパーコンティニューム光源、ファイバーリング光源及びソリトンレーザよりなる群のうちいずれか一つである請求項

1 1 の波長分割多重光再生システム。

【請求項 1 3】 前記再生装置は前記雑音除去装置を含み、前記雑音除去装置は、前記信号光の波長帯域を広げるための媒質と、前記媒質により広げられた前記波長帯域から信号光成分を抽出する光フィルターとを有している請求項 5 ～ 1 2 のいずれかの波長分割多重光再生システム。

【請求項 1 4】 前記偏波コンバータと前記再生装置との間に、伝搬する光の偏光状態を保持する偏波保持導波路を含み、前記偏波コンバータで偏光変換された前記信号光は前記偏波保持導波路を伝搬した後に前記再生装置にて再生処理が施される請求項 1 ～ 1 3 のいずれかの波長分割多重光再生システム。

【請求項 1 5】 前記偏波保持導波路が偏波保持光ファイバー、偏波保持型半導体導波路、及びガラス製の平面導波路よりなる群のうちいずれか一つを含む請求項 1 4 の波長分割多重光再生システム。

【請求項 1 6】 前記分波装置及び合波装置の少なくとも一方がアレイ導波路回折格子を含む請求項 2 ～ 1 5 のいずれかの波長分割多重光再生システム。

【請求項 1 7】 前記合波装置は偏波インターリーバーであり、この偏波インターリーバーにより合波された前記波長分割多重光に含まれる複数の信号光においては、波長の長さの順でみたときに隣り合う前記信号光同士では偏波状態が直交している請求項 2 ～ 1 5 のいずれかの波長分割多重光再生システム。

【請求項 1 8】 再生処理が施される前記信号光を増幅するための光増幅器を前記再生装置よりも前記分波装置側に含む請求項 1 ～ 1 6 のいずれかの波長分割多重光再生システム。

【請求項 1 9】 前記分波装置と前記再生装置との間に前記光増幅器を含む請求項 1 8 の波長分割多重光再生システム。

【請求項 2 0】 前記分波装置と前記合波装置との間に少なくとも一つの光スイッチを含む請求項 2 ～ 1 9 のいずれかの波長分割多重光再生システム。

【請求項 2 1】 請求項 2 0 の波長分割多重光再生システムを複数備え、これらのシステム間が前記光スイッチを介して接続されている波長分割多重光再生システム。

【請求項 2 2】 前記光スイッチが半導体光スイッチである請求項 2 0 または 2

1の波長分割多重光再生システム。

【請求項23】 前記再生装置の前記偏波コンバータ側に可変分散補償装置を含み、前記可変分散補償装置による前記信号光の分散補償処理に続いて前記再生装置が前記再生処理を施す請求項1～22の波長分割多重光再生システム。

【請求項24】 信号光に非線形光学効果を利用した再生処理を施す波長分割多重光再生方法であって、

互いに波長の異なる複数の信号光を含む波長分割多重光を前記波長毎に分波する分波工程と、

分波された前記複数の信号光のうち少なくとも一つの信号光の偏光状態を前記非線形光学効果に適した偏光状態へと偏光変換する偏光変換工程と、

前記偏光変換された信号光に前記非線形光学効果を利用した再生処理を施す再生工程とを備えたことを特徴とする波長分割多重光再生方法。

【請求項25】 前記再生処理が施された信号光を他の複数の信号光と合波して波長分割多重光とする合波工程を含む請求項24の波長分割多重光再生方法。

【請求項26】 前記偏光変換された信号光が直線偏光である請求項24または25の波長分割多重光再生方法。

【請求項27】 前記再生工程においては、前記偏光変換された信号光と励起光若しくは制御光との間で生じる前記非線形光学効果により前記信号光が再生される請求項24～26の波長分割多重光再生方法。

【請求項28】 前記制御光若しくは励起光は直線偏光を含み、この直線偏光と、前記偏光変換された信号光との間では、偏光面が互いに平行である請求項27の波長分割多重光再生方法。

【請求項29】 前記偏光変換された信号光の偏光状態を、前記偏光変換工程の後から前記再生工程の前まで保持させる請求項24～26のいずれかの波長分割多重光再生方法。

【請求項30】 前記再生処理を施す以前に前記偏光変換された信号光を増幅する請求項24～29のいずれかの波長分割多重光再生方法。

【請求項31】 前記合波工程において合波された前記波長分割多重光に含まれる複数の信号光においては、波長の長さの順でみたときに隣り合う前記信号光同

士では偏波方向が直交している請求項25～30のいずれかの波長分割多重光再生方法。

【請求項32】 前記再生処理工程において、前記信号光の分散を補償した後に前記再生処理を施す請求項24～31のいずれかの波長分割多重光再生方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、波長分割多重光再生システム及び波長分割多重光再生方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

通信システムの伝送容量は増加の一途をたどっており、光ファイバーを用いた光通信システムにより伝送容量は著しく増加した。例えば、通信システムは、ポイント・トゥー・ポイントの幹線系と、メトロ系及びアクセス系とに分けられるが、前者の幹線系では既に光通信システムが普及し、後者においても電気通信システムから光通信システムへの移行が進められている。すなわち、通信システム全体が光通信システムによって構築されようとしている。

【0003】

とりわけ、近年、波長分割多重方式により、1本の光ファイバーで伝送可能な情報量が飛躍的に増加した。同方式によって、光ファイバーの低損失帯域をスペクトル変換効率0.4bit/Hzで利用すると、1本の光ファイバーで伝送可能な伝送容量は約3.2Tbit/sとなる。具体的には、この伝送容量は、各チャンネル（波長）の信号光の伝送速度が現在利用されている10Gbit/sであるとした場合、320のチャンネルによって実現される。

【0004】

ところで、信号光は、長距離を伝搬する際、必ず、その信号波形、タイミング、及び強度が劣化する。そして、ある程度の距離を伝播した信号光は必ず再生処理を行なう必要がある。そのため、光通信システムには、通常、劣化した信号光を再生するための光信号再生システムが組み込まれている。この光信号再生シス

テムは、例えば、劣化した信号光を受信してそれを電気信号に変える受信装置と、この電気信号に対して増幅、雑音除去、波形再生、クロック再生等の所望の再生処理を行なう再生装置と、そして再生処理を受けた電気信号を再び信号光に変換してそれを光伝送路へ送信する送信装置とを備えている。

【0005】

具体的には、上記したチャンネル数が320にまでおよぶ複数の信号光が伝播する光ファイバに介挿される光信号再生システムの場合には、このチャンネル数に対応して、320台の光受信装置、再生装置、及び送信装置が組み込まれる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

このように多数の装置を含む光信号再生システムは、小型化が困難であり、また、消費電力が大きいという問題がある。

更には、上述したように光通信システムがメトロ系及びアクセス系に使用された場合、320チャンネルの光信号再生システムを各中継所に多数設置する必要があるため、光通信システム全体が大型化し、コストの増加や消費電力の増加を招く。

【0007】

このような問題を解決する一つの方法としては、波長分割多重方式におけるチャンネル数を削減し、各チャンネルの伝送速度を上昇させる方法があげられる。同一の伝送容量を達成する場合には、各チャンネルの伝送速度と、波長分割多重チャンネル数とは反比例の関係にあるからである。

しかし、上記した光信号再生システムに用いられている再生装置は、電気信号に対して処理を行なう電気デバイスであって、物理的に、応答速度の上限をもつ。例えば、電気デバイスで処理可能な信号の伝送速度の限界は、現在40Gbit/sで、この伝送速度では、なお約80ものチャンネル数が必要である。更には、電気デバイスをそのように高速駆動させるためには高い電力が必要となる。したがって、電気デバイスを用いた光信号再生システムにおいては、各チャンネルの伝送速度には上限があり、現実には、その小型化及び消費電力の低減は困難である。

【0008】

このような電気デバイスを用いた光信号再生システムにおける問題を解決する方法の一つに、信号光を電気信号へと変換することなく、光の状態のまま信号再生処理を行なう全光信号再生方法がある。この全光信号再生方法を用いた装置は、通常、高速の電気変調器と物質の非線形光学効果を利用した再生装置とからなる。

【0009】

しかしながら、この全光信号再生装置は、電気変調器を用いるため、光電変換を行なう光信号再生システムと同様にその処理速度に上限がある。さらに40Gbit/s以上の伝送速度の信号光を再生処理する場合、時間分割することで伝送信号光の伝送速度を落とし、信号再生を行なった後、時間分割多重する必要があるため、大規模な装置になる。

【0010】

また、上記した全光信号再生装置は、光信号の再生に非線形光学応答（非線形光学効果）を利用しているが、その場合には、以下の問題も発生する。

すなわち、大容量光通信システムにおいて、互いに波長の異なる複数の信号光を含む波長分割多重光が光伝送路を伝搬した場合、伝搬後の波長分割多重光に含まれる各信号光の偏光状態は波長毎にわずかに異なる。このような状態にある波長分割多重光に対して、一括して、非線形光学効果を利用した全光信号再生装置による再生処理を施した場合、入射光の偏光状態に応じて非線形光学効果の大小が大きく変化するため、再生された波長分割多重光には、良好に再生されない、もしくは全く再生されない信号光が含まれてしまうという問題である。

【0011】

本発明は上記した問題を解決し、大伝送容量、小型化及び省電力化が実現可能であり、かつ、波長分割多重光における全ての信号光を再生することができる波長分割多重光再生システム及び波長分割多重光再生方法の提供を目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】

上記した目的を達成するために、本発明においては、信号光に非線形光学効果を利用した再生処理を施す波長分割多重光再生システムであって、互いに波長の

異なる複数の信号光を含む波長分割多重光を前記波長毎に分波する分波装置と、分波された前記複数の信号光のうち少なくとも一つの信号光の偏光状態を前記非線形光学効果に適した所望の偏光状態に偏光変換する偏波コンバータと、偏光変換された前記信号光に前記再生処理を施す再生装置とを具備したことを特徴とする波長分割多重光再生システムが提供される（請求項1）。

【0013】

好ましくは、前記再生装置の出射側に、再生処理が施された前記信号光を他の複数の信号光と合波して波長分割多重光とする合波装置を含む（請求項2）。

好ましくは、前記偏波コンバータは、入射した信号光を直線偏光へと偏光変換して出射させる偏光変換部と、前記偏光変換部から出射した信号光を透過させ、前記信号光の偏光度を高める偏光子と、前記偏光子を透過した信号光の強度を検出するためのパワーメータと、前記パワーメータの検出結果に基づき前記偏光変換部の偏光変換をフィードバック制御する制御部とを含む（請求項3）。

【0014】

好ましくは、前記偏光変換部は、信号光が伝搬する光路上に順に配置された第1の $\lambda/4$ 波長板と、 $\lambda/2$ 波長板と、第2の $\lambda/4$ 波長板間と、前記 $\lambda/4$ 波長板及び $\lambda/2$ 波長板にそれぞれ装着され、前記 $\lambda/4$ 波長板若しくは $\lambda/2$ 波長板の進相軸及び遅相軸の方位を回転させる回転手段とを含み、前記制御部はパワーメータの検出結果が最大値となるよう前記回転手段を介して前記 $\lambda/4$ 波長板及び $\lambda/2$ 波長板を回転させる（請求項4）。

【0015】

好ましくは、前記再生装置は、増幅装置、波形再生装置、クロック再生装置及び雑音除去装置よりなる群のうちいずれか一つを含む（請求項5）。

好ましくは、前記再生装置は前記増幅装置を含み、前記増幅器が、エルビウム添加ファイバー型増幅器、ラマン増幅器、半導体光増幅器及びパラメトリック光増幅器よりなる群のうちいずれか一つである（請求項6）。

【0016】

好ましくは、前記再生装置は前記波形再生装置を含み、前記波形再生装置は、制御光若しくは励起光の発生装置を有し、前記信号光は該制御光若しくは励起光

との間で生じる前記非線形光学効果により波形再生される（請求項7）。

好ましくは、前記波形再生装置にて用いられる制御光若しくは励起光は直線偏光を含み、この直線偏光と、前記偏波コンバータにより偏光変換された前記信号光との間では、偏光面が互いに平行である（請求項8）。

【0017】

好ましくは、前記波形再生装置に含まれる制御光若しくは励起光の発生装置が、櫛型分散配置ファイバーにより圧縮された光パルス光源、ファイバ型圧縮装置により圧縮された光パルス光源、スーパーコンティニューム光源、ファイバーリング光源及びソリトンレーザよりなる群のうちいずれか一つである（請求項9）。

【0018】

好ましくは、前記再生装置は前記クロック再生装置を含み、前記クロック再生装置は、制御光若しくは励起光の発生装置を有し、前記信号光は該制御光若しくは励起光との間で生じる前記非線形光学効果によりクロック再生される（請求項10）。

好ましくは、前記クロック再生装置にて用いられる制御光若しくは励起光は直線偏光を含み、この直線偏光と、前記偏波コンバータにより偏光変換された前記信号光との間では、偏光面が互いに平行である（請求項11）。

【0019】

好ましくは、前記クロック再生装置に含まれる制御光若しくは励起光の発生装置が、櫛型分散配置ファイバーにより圧縮された光パルス光源、ファイバ型圧縮装置により圧縮された光パルス光源、スーパーコンティニューム光源、ファイバーリング光源及びソリトンレーザよりなる群のうちいずれか一つである（請求項12）。

好ましくは、前記再生装置は前記雑音除去装置を含み、前記雑音除去装置は、前記信号光の波長帯域を広げるための媒質と、前記媒質により広げられた前記波長帯域から信号光成分を抽出する光フィルターとを有している（請求項13）。

【0020】

好ましくは、前記偏波コンバータと前記再生装置との間に、伝搬する光の偏光

状態を保持する偏波保持導波路を含み、前記偏波コンバータで偏光変換された前記信号光は前記偏波保持導波路を伝搬した後に前記再生装置にて再生処理が施される（請求項 1 4）。

好ましく、前記偏波保持導波路が偏波保持光ファイバー、偏波保持型半導体導波路、及びガラス製の平面導波路よりなる群のうちいずれか一つを含む（請求項 1 5）。

【 0 0 2 1 】

好ましくは、前記分波装置及び合波装置の少なくとも一方がアレイ導波路回折格子を含む（請求項 1 6）。

好ましくは、前記合波装置は偏波インターリーバーであり、この偏波インターリーバーにより合波された前記波長分割多重光に含まれる複数の信号光においては、波長の長さの順でみたときに隣り合う前記信号光同士では偏波状態が直交している（請求項 1 7）。

【 0 0 2 2 】

好ましくは、再生処理が施される前記信号光を増幅するための光増幅器を前記再生装置よりも前記分波装置側に含む（請求項 1 8）。

好ましくは、前記分波装置と前記再生装置との間に前記光増幅器を含む（請求項 1 9）。

好ましくは、前記分波装置と前記合波装置との間に少なくとも一つの光スイッチを含む（請求項 2 0）。

【 0 0 2 3 】

好ましくは、請求項 2 0 の波長分割多重光再生システムを複数備え、これらのシステム間が前記光スイッチを介して接続されている（請求項 2 1）。

好ましくは、前記光スイッチが半導体光スイッチである請求項 2 0 または 2 1 の波長分割多重光再生システム（請求項 2 2）。

好ましくは、前記再生装置の前記偏波コンバータ側に可変分散補償装置を含み、前記可変分散補償装置による前記信号光の分散補償処理に続いて前記再生装置が前記再生処理を施す（請求項 2 3）。

【 0 0 2 4 】

更に、本発明においては、信号光に非線形光学効果を利用した再生処理を施す波長分割多重光再生方法であって、互いに波長の異なる複数の信号光を含む波長分割多重光を前記波長毎に分波する分波工程と、分波された前記複数の信号光のうち少なくとも一つの信号光の偏光状態を前記非線形光学効果に適した偏光状態へと偏光変換する偏光変換工程と、前記偏光変換された信号光に前記非線形光学効果を利用した再生処理を施す再生工程とを備えたことを特徴とする波長分割多重光再生方法が提供される（請求項 2 4）。

【 0 0 2 5 】

好ましくは、前記再生処理が施された信号光を他の複数の信号光と合波して波長分割多重光とする合波工程を含む（請求項 2 5）。

好ましくは、前記偏光変換された信号光が直線偏光である（請求項 2 6）。

好ましくは、前記再生工程においては、前記偏光変換された信号光と励起光若しくは制御光との間で生じる前記非線形光学効果により前記信号光が再生される（請求項 2 7）。

【 0 0 2 6 】

好ましくは、前記制御光若しくは励起光は直線偏光を含み、この直線偏光と、前記偏光変換された信号光との間では、偏光面が互いに平行である（請求項 2 8）。

好ましくは、前記偏光変換された信号光の偏光状態を、前記偏光変換工程の後から前記再生工程の前まで保持させる（請求項 2 9）。

【 0 0 2 7 】

好ましくは、前記再生処理を施す以前に前記偏光変換された信号光を増幅する（請求項 3 0）。

好ましくは、前記合波工程において合波された前記波長分割多重光に含まれる複数の信号光においては、波長の長さの順でみたときに隣り合う前記信号光同士では偏波方向が直交している（請求項 3 1）。

【 0 0 2 8 】

好ましくは、前記再生処理工程において、前記信号光の分散を補償した後に前記再生処理を施す（請求項 3 2）。

【0029】

【発明の実施の形態】

本発明では、劣化した信号光を含む波長分割多重光は、後述するように非線形光学効果を利用して再生される。そこで、まず、非線形光学効果について説明する。

非線形光学効果は、非線形光学定数が高い媒質（以下、非線形光学媒質ともいう）に強度の大きな光が入射したときに顕著に発生する。詳しくは、非線形光学定数が高い媒質としては、例えば、希土類元素をドープした光ファイバ（以下、高非線形ファイバともいう）、 LiNbO_3 等の強誘電体、及び半導体等があげられ、また強度の大きな光としては、信号光自体、又は、信号光とは別にこの効果を発生させるために用意された一つ若しくは二つ以上の制御光若しくは励起光があげられる。

【0030】

非線形光学効果が生じた場合、例えば、この媒質に入射している信号光の波形形状の変化若しくはその位相の変調が生じたり、或いは、制御光若しくは励起光と周波数の異なる高調波又は差周波若しくは和周波が発生する。このような非線形光学効果としては、自己位相変調（以下、SPMという）、相互位相変調（以下、XPMという）若しくは四光波混合（以下、FWMという）、ラマン増幅、パラメトリック増幅、ソリトン効果及びスーパーコンティニューム効果（以下、SCという）等が挙げられる。

【0031】

ここで、非線形光学効果の大きさ、例えば、周波数変調の程度や発生した高調波の強度は、入射した光の強度に対して非線形である。

そして、非線形光学効果の大きさは、強度の大きな光が無偏光ではなくある偏光状態を有し、かつ、この強度の大きな光の入射方向と直交する面内において非線形光学媒質が異方性を有する場合には、この光の偏光状態と媒質の相対方位に依存するという偏波依存性を有する。また、媒質にこのような異方性がない場合であっても、非線形光学効果の大きさは、強度の大きな光が制御光若しくは励起光であるときには、信号光の偏光状態と、制御光若しくは励起光の偏光状態との

相対関係に強く依存する。

【0032】

以下、図面に基づき本発明の実施形態を説明する。

図1は、本発明に係る第1実施形態の波長分割多重光再生システム1（以下、再生システム1という）を示している。

再生システム1は、波長分割多重通信システムに組み込まれた状態、例えばこの通信システムの一部を構成する光ファイバ4と光ファイバ6との間に介挿された状態で使用される。

【0033】

そして、再生システム1は、波長分割多重光に含まれている信号光であって、波長分割多重光が波長分割多重通信システム中を伝搬することによって劣化した信号光を、伝搬する以前の状態、例えば発信器から出射した直後の状態へと復元もしくは再生する。

なお、信号光の劣化とは、例えば、信号光の強度、位相、周波数、偏光状態またはこれらのうち複数が所定の許容範囲を超えて変化することをいう。

【0034】

再生システム1は分波装置8と合波装置10とを備えている。

分波装置8は、一つの入射ポート8aと複数の出射ポートとを有し、この入射ポート8aには光ファイバ4が接続されている。光ファイバ4から入射ポート8aを介して分波装置8に入射した波長分割多重光は、複数の信号光 λ_1 , λ_2 , λ_3 , \dots , λ_n へと分波される。そして各信号光 λ_1 , λ_2 , λ_3 , \dots , λ_n は、それぞれ、波長毎に異なる分波装置8の出射ポートから出射する。

【0035】

一方、合波装置10は、複数の入射ポートと一つの出射ポート10aとを有し、この出射ポート10aには光ファイバ6が接続されている。各入射ポートを介して合波装置10に入射した信号光 λ_1 , λ_2 , λ_3 , \dots , λ_n は、合波されて波長分割多重光となり、出射ポート10aを介して光ファイバ6へと伝搬する。

なお、これら分波装置8及び合波装置10は共に、例えばアレイ導波路回折格子により構成することができる。

【0036】

分波装置 8 と合波装置 10 との間には、複数の光路 $12_1, 12_2, 12_3, \dots, 12_n$ が延びており、各光路 $12_1, 12_2, 12_3, \dots, 12_n$ の両端は、分波装置 8 の出射ポートと合波装置 10 の入射ポートに接続されている。

これら光路 $12_1, 12_2, 12_3, \dots, 12_n$ のうち少なくとも一つの光路 12_1 には、分波装置 8 側から順に、偏波コンバータ 13 と、光信号再生装置 15 とが介挿されている。

【0037】

再生システム 1 においては、光路 $12_1, 12_2, 12_3, \dots, 12_n$ のうち、どの光路に上記した偏波コンバータ 13 及び光信号再生装置 15 を介挿するかという点については、各光路 $12_1, 12_2, 12_3, \dots, 12_n$ を伝搬する信号光 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ の劣化の程度に応じて適宜決定することができる。

各光路 $12_1, 12_2, 12_3, \dots, 12_n$ は、例えば、シングルモードファイバー若しくは分散シフトファイバ等の光ファイバ、光導波路、空間、又はこれらの組み合わせにより構成することができる。しかしながら、光路 12_1 のうち、偏波コンバータ 13 と再生装置 15 との間を延びる部分については、後述する理由により、そこを伝播する光の偏光状態を保持することが可能な偏波保持型導波路 $12a$ で構成することが好ましい。このような偏波保持型導波路 $12a$ としては、例えば、偏波保持光ファイバ、半導体光導波路、及びガラス製平面形導波路などをあげることができる。

【0038】

偏波コンバータ 13 へ入射した信号光 λ_1 は、この偏波コンバータ 13 において、その偏光状態が後述する再生装置 15 による再生処理に適した所望の偏光状態、例えば直線偏光へと偏光変換された後、偏波コンバータ 13 から出射する。

ところで、偏波コンバータ 13 に入射する時点において、信号光 λ_1 は、自らの波長、または、発信器で生成されてから偏波コンバータ 13 に入射するまでの伝搬光路の長さ、種類もしくは状態等に対応したある偏光状態を有している。すなわち、信号光 λ_1 は、光路の波長分散、偏波モード分散（光弾性効果によるものも含む）等に応じた偏光状態を有している。

【0039】

偏波コンバータ13は、このように様々かつ不確定な要因に基づきあらゆる偏光状態を取り得る信号光 λ_1 に対して偏光変換を施し、その偏光状態を所望の偏光状態へと変換する。すなわち、偏波コンバータ13は、そこに入射した時点における信号光の偏光状態に依存することなく、所望の偏光状態の光を出射させるものであって、任意の偏光状態を所望の偏光状態へと偏光変換する機能を有している。

【0040】

偏波コンバータ13を出射した信号光 λ_1 は、偏波保持型導波路12aを伝搬して再生装置15へ入射する。

ここにおいて、偏波保持型導波路12aを伝搬する信号光は、その偏光状態を維持したまま伝搬することができる。よって、偏波コンバータ13を出射した信号光 λ_1 は、その偏光状態を維持したまま再生装置15へと入射することができる。

【0041】

より詳しくは、偏光変換後の信号光 λ_1 が直線偏光であり、また、偏波保持型導波路12aとして偏波保持光ファイバを用いた場合には、信号光の偏光面と偏波保持光ファイバーの主軸、すなわち進相軸若しくは遅相軸とを一致させることにより、偏波コンバータ13と再生装置15との間で、信号光 λ_1 の偏光状態は保存される。

【0042】

なお、偏波保持型導波路12aを使用しない場合には、偏波コンバータ13と再生装置15との間の光路12₁の長さを短くすることによっても、それらの間で信号光 λ_1 の偏光状態の保存もしくはその変化を抑制することができる。

また、偏波コンバータ13と再生装置15との間の光路12₁が偏波保持型導波路12aではない場合であっても、この光路12₁の複屈折が既知であれば、その複屈折を考慮して偏波コンバータ13の偏光変換の設定を行なうことにより、所望の偏光状態の信号光 λ_1 を再生装置15へ入射させることができる。

【0043】

再生装置 1 5 は、入射した信号光 λ_1 に非線形光学効果を利用した再生処理を施して信号光 λ_1 を再生する。

再生装置 1 5 から出射し、光路 1 2₁ を伝搬した信号光 λ_1 は、合波装置 1 0 へとその入射ポートを介して入射する。一方、合波装置 1 0 には、その他の光路 1 2₂, 1 2₃, … 1 2_n を伝搬してきた信号光 $\lambda_2, \lambda_3, \dots \lambda_n$ もそれぞれ互いに異なる入射ポートを介して入射している。合波装置 1 0 は、信号光 λ_1 を含むこれらの信号光 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots \lambda_n$ を合波して波長分割多重光とし、出射ポート 1 0 a から出射させる。

【 0 0 4 4 】

以下では、上記した波長分割多重光再生システム 1 を用いた、波長分割多重光再生方法 A（以下、方法 A という）を、図 1 を用いて説明する。

方法 A は、分波工程と、偏光変換工程と、再生工程とを備える。

まず、分波工程において、分波装置 8 が波長分割多重光を波長毎に複数の信号光 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots \lambda_n$ に分波する。

【 0 0 4 5 】

その後に、偏光変換工程において偏波コンバータ 1 3 が、分波工程で得られた複数の信号光 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots \lambda_n$ のうち、少なくとも 1 つの信号光 λ_1 に偏光変換を施す。この偏光変換は、信号光 λ_1 の偏光状態を、再生装置 1 5 において所望の非線形光学効果の発現に適合した偏光状態、若しくは、再生装置 1 5 において信号光がもっともよく再生される偏光状態へと偏光変換する。

【 0 0 4 6 】

そして、再生工程において再生装置 1 5 が、偏光変換工程で偏光変換された信号光 λ_1 に対して非線形光学効果を利用した再生処理を施す。

これらの再生システム 1 及び方法 A は、以下の作用を有する。

波長分割多重光に含まれる互いに波長の異なる複数の信号光は、波長分割多重光が例えば通信システム中の発信器から出射してこの通信システム中を伝搬した後では、それらの偏光状態は波長に応じて互いに異なっている。そのため、波長の異なる複数の信号光を、非線形光学効果を利用した再生装置にて一括して再生した場合、その波長毎に、信号光の再生の程度が異なってしまう。すなわち、あ

る一つの波長の信号光は良好に再生できたが、他の波長の信号光は再生されなかったという場合が起こり得る。

【0047】

そこで、再生システム1及び方法Aにあっては、信号光の偏光状態が波長依存性を有していること、ならびに、非線形光学効果を利用した信号光の再生の程度は、信号光の偏光状態と、制御光若しくは励起光の偏光状態との相対関係に強く依存することを考慮し、まず、波長分割多重光を波長毎に複数の信号光へと分波して、それぞれの信号光を独立化して扱う。そしてその上で、再生装置15による再生処理が必要な信号光の偏光状態を、信号光の再生装置15への入射に先立って再生に適合する偏光状態に調整する。

【0048】

これにより、再生システム1及び方法Aは、再生処理が必要な信号光を、発信器から出射した直後、もしくは劣化前の元の信号光へと忠実に再現することができる。そしてその結果として、再生された信号光を含む波長分割多重光の波形を良好に再生することができる。

更に、再生システム1及び方法Aにおいては、信号光は電気信号に変換されることなく再生されるので、伝送容量が電気デバイス等によって制限されることがない。そのため、再生システム1及び方法Aによれば、各波長（チャンネル）の信号光の伝送速度を40Gbit/sを超えて高めることが可能であり、波長分割多重光のチャンネル数を減らすことができる。その結果、再生システム1は、従来に比べて少ない再生装置15で構成されるので、その小型化及び省電力化が可能である。

【0049】

以下では、再生装置15について詳述する。

再生装置15は、図2に示したように、増幅装置17、波形再生装置19、クロック再生装置21及び雑音除去装置23を含む。

再生装置15は、再生システム1に求められる再生能力に応じて、光増幅装置17、波形再生装置19、クロック再生装置21及び雑音除去装置23よりなる群のうちから選択された一つ又は二つ以上を含み、かつ、その選択された装置は

、非線形光学効果を利用した再生処理を行なう装置である。また、これら増幅装置 17、波形再生装置 19、クロック再生装置 21 及び雑音除去装置 23 の配列は格段限定されることはなく適宜変更することが可能であり、例えば波形再生装置 19 の前段にクロック再生装置 21 を配置してもよい。

【0050】

ここで、増幅装置 17 は減衰した信号光を増幅し、波形再生装置 19 は信号光の波形を再生し、クロック再生装置 21 は信号光のクロック再生を行ない、そして、雑音除去装置 23 は信号光に含まれる雑音を除去する。

なお、増幅装置 17 により増幅され、雑音として自然放出光（無偏光）を含む信号光であっても、偏光子を透過させることにより、信号光に含まれる雑音を半減させることができる。すなわち、増幅装置 17 と偏光子とを組み合わせたものは、雑音除去装置 23 として用いることもできる。

【0051】

増幅装置 17 としては、例えば、エルビウム添加ファイバー型増幅器、ラマン増幅器、半導体光増幅器、パラメトリック光増幅器等をあげることができる。

ラマン増幅器では、そこに入射する信号光と、励起光との間における偏光状態の相対関係にラマン利得が依存する。再生システム 1 においては、所望のラマン利得を得るのに適した偏光状態へと、偏波コンバータ 13 が信号光を予め偏光変換するので、ラマン増幅器は安定して信号光を増幅することができる。

【0052】

ラマン増幅器と同じように、半導体光増幅器やパラメトリック光増幅器もそれぞれの利得に偏光依存性がある。再生システム 1 においては、所望の利得を得るのに適した偏光状態へと、偏波コンバータ 13 が信号光を予め偏光変換するので、半導体光増幅器やパラメトリック光増幅器は安定して信号光を増幅することができる。

【0053】

クロック再生装置 21 は、非線形光学効果として、例えば、FWM 若しくは XPM を利用するものがあげられる。

前者のクロック再生装置 21 としては、図 3 に例示したものがある。このクロ

ック再生装置 21 は、パルス状の制御光を出射する制御光発生装置 25 と、光学遅延手段 27 及び制御部 29 により制御光に対して信号光の位相を揃える位相同期手段 31 と、光カップラ 33 を介して光路に介挿され、制御パルス光と信号光とが伝搬して XPM が発生する高非線形ファイバ 35 と、高非線形ファイバ 35 に制御光を入射若しくはそこから出射させる WDM カプラ 37, 39 とを備えている。また、このクロック再生装置 21 は、高非線形ファイバ 35 からの信号光の戻りを防止するアイソレータ 41 と、光フィルター 43 を備えている。

【0054】

また、後者のクロック再生装置 21 としては、図 4 に例示したものがある。このクロック再生装置 21 は、パルス状の励起光を出射する励起光出射装置 45 と、励起光に対して信号光の位相を揃える位相同期手段 31 と、WDM カプラ 47 を介して励起光と信号光とが入射して FWM が発生する非線形光学媒質 49 とを備える。このクロック再生装置 21 においては、非線形光学媒質 49 に入射した信号光が、FWM を用いて波長変換された信号光とともに非線形光学媒質 49 から出射するので、波長変換されていない信号光及び励起光は、WDM カプラ 51 を用いて波長変換によって得られた信号光と分離される。

【0055】

図 3 及び図 4 に示したクロック再生装置 21 は、高非線形ファイバ 35 若しくは非線形光学媒質 49 中における XPM や FWM を利用して信号光に対してクロック再生処理を施している。このようなクロック再生処理においては、得られる非線形光学効果が小さいときには良好に信号光のクロック再生をすることができなくなる。そのため、信号光と、制御光若しくは励起光との間において、それぞれの偏光状態を所定の相対関係にて維持し、得られる非線形光学効果の大きさを所定の大きさに維持する必要がある。

【0056】

具体的には、クロック再生装置 21 に入射する信号光の偏光状態が直線偏光の場合、励起光若しくは制御光の偏光面と信号光の偏光面とが互いに平行になるように、信号光の偏光状態を維持する。これにより、クロック再生装置 21 は所定の程度にて信号光のクロック再生を行なうことができる。

波形再生装置 19 には、非線形光学効果としてソリトン効果、又は、SPM 若しくは SC を利用するものがある。

【0057】

前者の波形再生装置 19 は、例えば図 5 に示したように、増幅装置 17、非線形光学媒質 53、及び光フィルター（バンドパスフィルター）55 から構成されている。ここで非線形光学媒質 53 としては、高非線形ファイバおよび半導体素子があげられる。なお、図 2 に示したように増幅装置 17 が波形再生装置 19 の入射側に配置されている場合には、波形装置 19 は増幅装置 17 を自身に有する必要はない。

【0058】

図 5 の再生装置 19 においては、増幅装置 17 で強度が高められた信号光が非線形光学媒質 53 に入射し、この媒質中 53 中で発生するソリトン効果により、信号光に含まれる時間的な雑音成分を除去されて信号光の波形が再生される。

SPM 若しくは SC を利用する後者の波形再生装置 19 としては、図 6 に例示したものがある。この波形再生装置 19 は、増幅装置 17、非線形光学媒質 56、光フィルター 55、波長変換部 57 から構成されている。

【0059】

図 6 の波形再生装置 19 においては、増幅装置 17 で強度が高められた信号光が非線形光学媒質 53 に入射し、この媒質中 56 中で発生する SPM 若しくは SC によって、時間的な雑音成分を除く信号光についてのみ波長帯が広げられる。そして、この波長帯が広げられた信号光が光フィルター 55 へと入射し、所定の波長帯を有する信号光のみが光フィルター 55 を透過することにより、信号光の波形が再生される。波形が再生された信号光は、波長変換部 57 に入射して波長変換を施される。

【0060】

ここで、波長変換部 57 による波長変換は、信号光の波長帯を媒質 56 にて広げられる前の波長帯に戻す。よって、波長帯を戻す必要がない場合には、波長変換部 57 を波形再生装置 19 に設ける必要はない。

波長変換部 57 には、非線形光学効果として、例えば FWM、XPM もしくは

SPMを利用するものがある。これらのうち、FWM若しくはXPMを用いるものは、基本的に上記したクロック再生装置21と同じ構成を有する。したがって、波長変換部57はクロック再生装置21を兼ねることができ、図6に示した波形再生装置19の場合、その出射側にクロック再生装置21を配置する必要はない。

【0061】

また、SPMを利用した波長変換部は、増幅装置と、非線形ファイバと光フィルタによって構成することができる。

上記したように、波形再生装置19による信号光の波形再生処理は、媒質53, 56, 35, 49中におけるSPM、XPM、FWM、ソリトン効果及びSC等の非線形光学効果を利用している。そして、XPMとFWMを利用した波形再生処理の場合には、制御光若しくは励起光の発生装置25, 45から出射した制御光若しくは励起光と、信号光とを同一の媒質35, 49に入射させることによりXPM若しくはFWMを発生させる。

【0062】

このような波形再生処理においては、得られる非線形光学効果が大きすぎても小さすぎても良好に信号光の波形を再生することができなくなるおそれがある。そのため、信号光と、制御光若しくは励起光との間において、それぞれの偏光状態を所定の相対関係にて維持して、発現する非線形光学効果の大きさを所望の大きさに維持する必要がある。

【0063】

雑音除去装置は、波形再生装置と同様に、増幅器、非線形光学媒質、および光フィルタなどで構成することができる。雑音除去装置は、SPMやSC等の非線形光学効果を用いて、信号成分の波長帯を広げた後、信号部分と雑音部分とを分離している。

なお、上記した波形再生装置19、クロック再生装置21、もしくは雑音除去装置23において用いられる制御光または励起光の発生装置としては、楕型分散配置を利用した光パルス光源、ファイバ型圧縮装置により圧縮された光パルス光源、スーパーコンティニューム光源、ソリトンパルス光源、ファイバーリングレ

一ザのいずれかを用いるのが好ましい。なぜならば、これらの光源は、パルス時間幅が狭い高繰り返しパルスを発生させることが可能であって、更に、パルス時間幅及び繰り返しのパターンを、例えば信号光の周波数等を考慮して適宜設定することができるからである。

【0064】

以下では、偏波コンバータ13について詳述する。

偏波コンバータ13は、上記したように、任意の偏光状態を所望の偏光状態へと偏光変換する機能を有するものであればよい。このような偏波コンバータ13は、少なくとも、入射した光（信号光）に対して偏光変換を施して所望の偏光状態とする偏光変換部を備えている。

【0065】

具体的には、制御光若しくは励起光が直線偏光である場合には、信号光の所望の偏光状態としては、制御光若しくは励起光と偏光面が平行である直線偏光があげられる。

そして、偏波コンバータ13は、偏光変換部71に入射する信号光の偏光状態を検出し、この検出結果に基づき偏光変換部71をフィードフォワード制御するために、あるいは、偏光変換部71から出射した信号光の偏光状態を検出し、この検出結果に基づき偏光変換部71をフィードバック制御するために、検出部73及び制御部75を備えているのが好ましい。その理由は、信号光を所望の偏光状態へと確実に偏光変換することができるからである。

【0066】

具体的には、検出部73としては、光分配器77により分波された信号光の偏光状態及び強度を検出可能な偏波アナライザ若しくは強度のみを検出可能なパワーメータ等があげられる。また、制御部はコンピュータにより構成することができる。

例として、入射した信号光を直線偏光へと変換する偏波コンバータであって、検出部及び制御部を備えていない図9に示す。

【0067】

この偏光変換部71は、入射した信号光を偏光面が互いに直交する2つの偏光

へと分離する偏光分離素子79と、これらの2つの偏光を合波する合波器81とを備えている。そして、これら偏光分離素子79と合波器81との間には、2つの光路が延びており、そのうち一方の光路にのみ $\lambda/2$ 波長板83が介挿されている。

【0068】

この偏光変換部71に信号光が入射すると、偏光分離素子79により分離された偏光のうち、一方の偏光は、図中矢印で示したように紙面と平行な偏光面のまま合波器81へと入射し、紙面と垂直な偏光面を有する他方の偏光は、 $\lambda/2$ 波長板83を通過することによりその偏光面が 90° 回転させられて合波器81へと入射する。したがって、合波器81に入射した時点においては2つの光路を伝搬してきた各偏光の偏光面は揃っており、これら偏光が合波器81において合波されることにより得られる信号光は、必ず直線偏光となる。

【0069】

また、図10は、入射した信号光を直線偏光へと変換する偏波コンバータであって、偏光変換部71をフィードバック制御するための検出部73及び制御部75を備えたものを示している。

この偏光変換部71は、入射した信号光を偏光面が互いに直交する2つの偏光へと分離する偏光分離素子79と、これら2つの偏光を合波する合波器81とを備えている。そして、これら偏光分離素子79と合波器81との間には、2つの光路が延びており、そのうち一方の光路には $\lambda/2$ 波長板83が介挿され、他方の光路には、光学光路長を可変とするための光学遅延手段85が介挿されている。

【0070】

また、合波器81の出射側には、入射した信号光を所定の強度比で2つの光へ分光する光分配器77が配置されている。光分配器77の一方の出射側には、検出部73として、信号光を受光してその強度を測定するパワーメータが配置されている。そして、例えばコンピュータからなる制御部75は、パワーメータの検出結果すなわち信号光の強度を入力するために、パワーメータと電気的に接続されている。その一方で制御部75は、入力した検出結果に基づき、信号光の強度

が最大となるように、光学遅延手段 85 を介して他方の光路の光学光路長を可変制御するために、光学遅延手段とも電氣的に接続されている。

【0071】

更に、図 11 は、入射した信号光を、直線偏光に限らず任意の偏光状態を有する信号光へと変換する偏波コンバータであって、偏光変換部 71 をフィードバック制御するための検出部 73 及び制御部 75 を有するものを示している。

この偏波コンバータの偏光変換部 71 は、コリメータ 85、87 間を延びる信号光の光路上に順に配置された $\lambda/4$ 波長板 89 と、 $\lambda/2$ 波長板 91 と、 $\lambda/4$ 波長板 93 と、これら波長板を光軸を回転軸として回転させるために各波長板に装着された回転手段 95、97、99 とからなる。すなわち、この偏光変換部 71 においては、回転手段 95、97、99 によって波長板 89、91、93 を回転させることにより、信号光の偏光状態に対する各波長板 89、91、93 の進相軸及び遅相軸の方位が可変である。

【0072】

検出部 73 は信号光の偏光状態として例えばストークスパラメータを求めることが可能な偏波アナライザーからなり、制御部 75 はこのストークスパラメータが所望の値となるように各回転手段 95、97、99 の回転角を調節する。

したがって、この偏波コンバータによれば、任意の偏光状態を有する光を、所望の偏光状態へと偏光変換することができる。

【0073】

なお、図 11 の偏波コンバータにおいて、偏光変換部 71 が信号光を直線偏光へと偏光変換する場合には、図 12 に例示したように、再生装置 15 による再生処理に適した直線偏光を透過させるように、偏光変換部 71 の出射側に直線偏光子 101 を配置し、かつ、検出部 75 は信号光の強度を検出するパワーメータとするのが好ましい。

【0074】

その理由は、信号光 λ_1 が偏光子 101 を通過することにより、信号光の偏光度を高めることができ、一層、再生装置 15 による再生の程度を一層安定させることができるからである。また、後述するように偏波コンバータ 13 の入射側に

光増幅器 1 0 5 が配置された場合には、この光増幅器 1 0 5 にて増幅された雑音、すなわち、信号光 λ_1 に付加された無偏光である自然放出光が除去され、信号光 λ_1 の信号雑音比を向上させることができるからである。

【0 0 7 5】

図 1 3 は、本発明に係る第 2 実施形態の波長分割多重光再生システム 1 0 3（以下、再生システム 1 0 3 という）を示している。

再生システム 1 0 3 は、分波装置 8 と偏波コンバータ 1 3 との間を延びる光路 1 2₁ に光増幅器 1 0 5 が介挿され、かつ、偏波コンバータ 1 3 と光信号再生装置 1 5 との間を延びる偏波保持型導波路 1 2 a に可変分散補償器 1 0 7 が介挿されている以外は、再生システム 1 と同じ構成を有している。

【0 0 7 6】

光増幅器 1 0 5 は、分波装置 8 と偏波コンバータ 1 3 との間に配置され、分波装置 8 から光路 1 2₁ を伝搬してきた信号光 λ_1 を受光する。そして、光増幅器 1 0 5 は信号光 λ_1 を所定の強度へと増幅した後、光路 1 2₁ へと出射させる。

すなわち、光増幅器 1 0 5 はそこに入射した信号光 λ_1 の強度を適宜増幅して出射し、そのことによって、例えば波長分割多重通信システムを伝搬してきた信号光 λ_1 の減衰が大きい場合であっても、その減衰を補償することができる。

【0 0 7 7】

ただし、光増幅器 1 0 5 を配置する位置は、分波装置 8 と偏波コンバータ 1 3 との間に限定されることはなく、分波装置 8 と再生装置 1 5 までの間のいずれの位置であってもよい。あるいは、光増幅器 1 0 5 は分波装置 8 の入射ポート 8 a 側に配置され、波長分割多重光に含まれた状態にて信号光 λ_1 を増幅してもよい。

【0 0 7 8】

また、光増幅器 1 0 5 による信号光の増幅率は、偏波コンバータ 1 3 に含まれる検出部及び制御部によりフィードバック制御若しくはフィードフォワード制御してもよい。

偏波コンバータ 1 3 と再生装置 1 5 との間には可変分散補償器 1 0 7 が配置され、偏波コンバータ 1 3 から出射した信号光 λ_1 は、偏波保持型導波路 1 2 a を

伝搬して可変分散補償器 1 0 7 に入射する。可変分散補償器 1 0 7 は、伝送路を伝搬することで蓄積された伝送路の波長分散による信号光の波形歪みを補正した後、偏波保持型導波路 1 2 a へと出射させる。

【0079】

なお、可変分散補償器 1 0 7 を配置する位置は格段限定されることはなく、偏波コンバータ 1 3 と再生装置 1 5 との間、分波装置 8 と光増幅器 1 0 5 との間、光増幅器 1 0 5 と偏波コンバータ 1 3 との間、再生装置 1 5 と合波装置 1 0 との間であってもよい。

図 1 4 は、本発明に係る第 3 実施形態の波長多重分割光再生システム 1 0 9 （以下、再生システム 1 0 9 という）を示している。

【0080】

再生システム 1 0 9 は、偏波モード分散補償装置 1 1 0 が、可変分散補償器 1 0 7 と再生装置 1 5 との間を延びる偏波保持型導波路 1 2 a に介挿されている点が、再生システム 1 0 3 と異なっている。

この偏波モード分散補償装置 1 1 0 は、伝送路中に局所的かつランダムに存在する複屈折が、偏波モードに伝搬速度差を与え信号光の時間波形を歪ませるといふ、偏波モード分散を補償する装置である。

【0081】

したがって、再生システム 1 0 9 によれば、伝送路中の偏波モード分散による波形歪みが補償されるので、再生システム 1 0 9 を出射した後における信号光若しくは波長分割多重光の伝送可能距離を延長することができる。

図 1 5 は、本発明に係る第 4 実施形態の波長分割多重光再生システム 1 1 1 （以下、再生システム 1 1 1 という）を示している。

【0082】

この再生システム 1 1 1 は、合波装置が偏波インターリーバ機能を有する偏波インターリーバ 1 1 2 であり、また、偏波インターリーバ 1 1 2 の出射側に、偏波インターリーバ 1 1 2 から出射した波長分割多重光の偏光状態を偏光変換するための偏波コンバータ 1 1 4 が設置されている点において、再生システム 1 0 3 と異なっている。

【0083】

偏波インターリーバ112は、互いに波長の異なる複数の信号光 λ_1 , λ_2 , λ_3 , \dots , λ_n を合波する際に、波長の長さ順でみて隣り合う信号光同士を、互いに偏光状態が直交するように合波する偏波インターリーブ機能を有している。

したがって、偏波インターリーバ112により合波された波長分割多重光が同一の光路を伝搬した際には、波長の長さ順でみて隣り合う信号光間、言い換えれば、隣り合うチャンネル同士間での相互作用による信号光の劣化が抑制される。

【0084】

また、偏波コンバータ114は、偏波コンバータ114と、次の波長分割多重再生システム、もしくは、受信器との間を延びる光伝送路（光ファイバ6）において、波長分割多重光に対する偏波モード分散の影響が最小となる偏光状態へと、偏波インターリーバ112の出射ポート112aから出射した波長分割多重光に偏光変換を施す。

【0085】

したがって、この再生システム111によれば、この再生システム111に入射した波長分割多重光を再生するのみでなく、波長分割多重光の偏光状態を再生システム111から出射した後に伝搬する光路に適した偏光状態とし、例えば、次の波長分割多重再生システム若しくは受信器に入射するまでの間、波長分割多重光の劣化を抑制することができる。

【0086】

なお、この再生システム111においては、光増幅器105を、分波装置8と偏波コンバータ13との間ではなく、偏波コンバータ13と再生装置15との間を延びる偏波保持導波路12aに介挿し、偏波コンバータ13の検出部にて検出された信号光 λ_1 の強度に基づき光増幅器105をフィードフォワード制御している。

【0087】

この場合、再生装置15に入射する信号光 λ_1 の強度を一定にすることができるので、より一層再生装置15による信号光 λ_1 の再生の程度を安定化することができる。

図16は、本発明に係る第5実施形態の波長分割多重再生システム116（以下、再生システム116という）を示している。

【0088】

この再生システム116は、互いに接続された複数のサブシステム116a, 116b, ...を含んでいる。

各サブシステム116a, 116b, ...は、光路12₁の両端近傍、すなわち分波装置8側及び合波装置10側に、それぞれ、光スイッチ118a, 118b, ...及び120a, 120b, ...が介挿されている以外は、再生システム111と同じ構成を有する。なお、図16中、線の錯綜をさけるために各サブシステム116a, 116b, ...における光路12₁以外の光路12₂, 12₃, ...12_nの記載を省略した。

【0089】

システム116においては、光スイッチ118aと118bとの間が光路12₂で接続され、光スイッチ120aと120bとの間が光路12₄で接続されている。

したがって、各サブシステム116a, 116b, ...は、光路12₁もしくは偏波保持型導波路12aに少なくとも1つの光スイッチが介挿されていることにより、自身の分波装置8により分波された信号光ではなく、波長分割多重光通信システムの他の箇所から伝搬してきた信号光に対しても再生処理を施すことができる。

【0090】

そして、これら各サブシステム116a, 116b, ...を光路12₂, 12₄で接続することにより、再生システム116は全体としてルータ機能を備えている。

なお、光スイッチ118a, 118b, ...、もしくは、光スイッチ120a, 120bは、半導体光スイッチであるのが好ましい。再生システム116の大型化を防止できるとともに、サブシステム116a, 116b, ...間で光路を切換えるスイッチング速度を高めることができるからである。

【0091】

詳しくは、半導体光スイッチは、半導体材料に、異方性エッチング若しくは犠牲層エッチング等のマイクロマシーニング技術を適用して形成された光スイッチであって、Micro-Electro-Mechanical-System（以下、MEMSという）の一種である。

本発明は、上記した実施形態に限定されることはなく、種々変形が可能である。例えば、図2の再生装置15を半導体基板上に集積回路として形成することで、再生装置15を一体化・小型化することができる。

【0092】

また、再生装置15においては、波形再生装置、雑音除去装置及びクロック再生装置は、互いに同じ非線形光学効果を利用する場合には同一の機能を有することがあることから、これらのうちいずれか一つ又は二つを省くことが可能であり、もって再生装置15を構成する装置の数を減少させることができる。

【0093】

【発明の効果】

本発明の波長分割多重光再生システム及び波長分割多重光再生方法によれば、非線形光学効果を利用することにより、電気デバイスを用いることなく、若しくは、光電変換を行なうことなく、波長分割多重光を再生することができる。

したがって、本発明によれば、波長分割多重光通信システムにおける波長分割多重光の伝送速度を、例えばビットレート40Gbit/sを超えて高めることが可能であると同時に、波長分割多重光再生システムの小型化及び省電力化が可能である。

【0094】

更に、本発明の波長分割多重光再生システムを備えた中継局を多段通過した場合にあっては、各中継局で波長分割多重光が確実に再生されることから、波長分割多重光の信号強度、波形、及びタイミング等の品質は常に維持される。その結果、本発明によれば、超長距離間の光通信システムを実現可能である。

よって、本発明の波長分割多重光再生システム及び波長分割多重再生方法の通信産業における利用価値は極めて大である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明に係る第 1 実施形態の波長分割多重光再生システムの概略構成図である。

【図 2】

図 1 の再生システムに含まれる再生装置 1 5 の概略構成図である。

【図 3】

図 2 の再生装置 1 5 に含まれるクロック再生装置 2 1 の概略構成図である。

【図 4】

図 2 の再生装置 1 5 に含まれる他のクロック再生装置 2 1 の概略構成図である。

【図 5】

図 2 の再生装置 1 5 に含まれる波形再生装置 1 9 の概略構成図である。。

【図 6】

図 2 の再生装置 1 5 に含まれる他の波形再生装置 1 9 の概略構成図である。

【図 7】

図 1 の再生システムに含まれる偏波コンバータ 1 3 の概略構成図である。

【図 8】

図 1 の再生システムに含まれる他の偏波コンバータ 1 3 の概略構成図である。

【図 9】

図 1 の再生システムに含まれるまた他の偏波コンバータ 1 3 の概略構成図である。

【図 1 0】

図 7 の偏波コンバータ 1 3 の一形態の概略構成図である。

【図 1 1】

図 7 の偏波コンバータ 1 3 の他の形態の概略構成図である。

【図 1 2】

図 7 の偏波コンバータ 1 3 の更に他の形態の概略構成図である。

【図 1 3】

本発明に係る第 2 実施形態の波長分割多重光再生システムの概略構成図である。

【図 1 4】

本発明に係る第 3 実施形態の波長分割多重光再生システムの概略構成図である

【図 1 5】

本発明に係る第 4 実施形態の波長分割多重光再生システムの概略構成図である

【図 1 6】

本発明に係る第 5 実施形態の波長分割多重光再生システムの概略構成図である

【符号の説明】

1, 1 0 3, 1 0 9, 1 1 1, 1 1 6 波長分割多重光再生システム

8 合波装置

1 0 分波装置

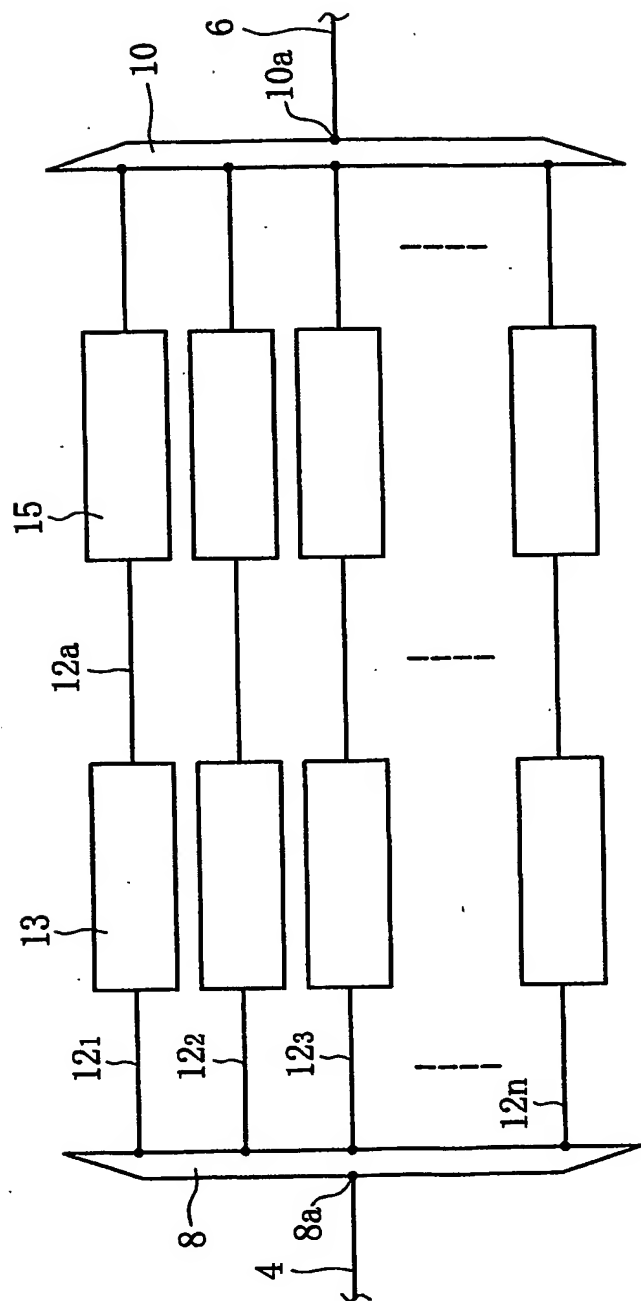
1 3 偏波コンバータ

1 5 再生装置

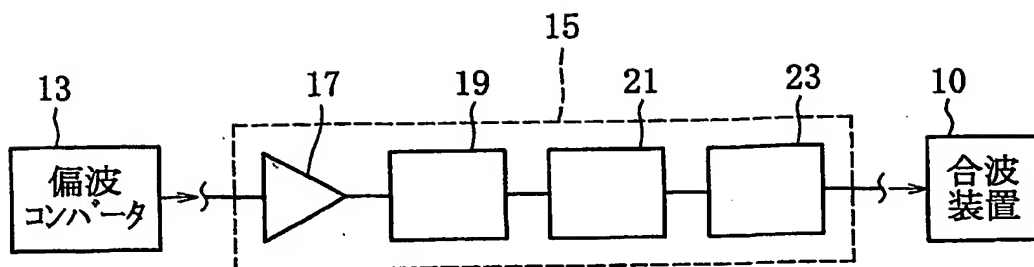
【書類名】

図面

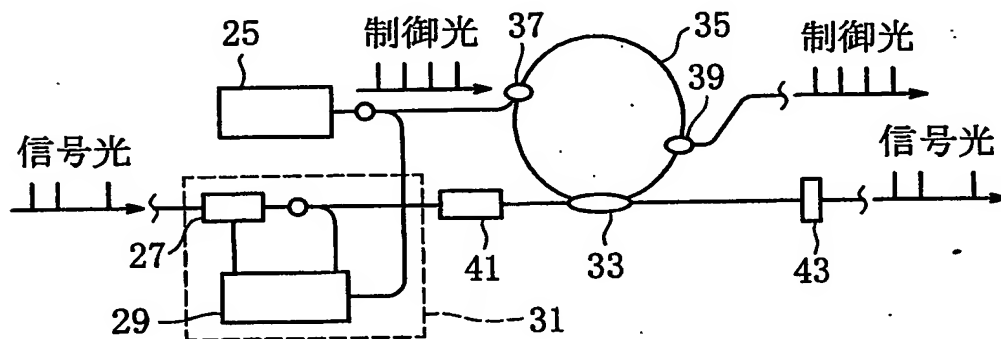
【図 1】



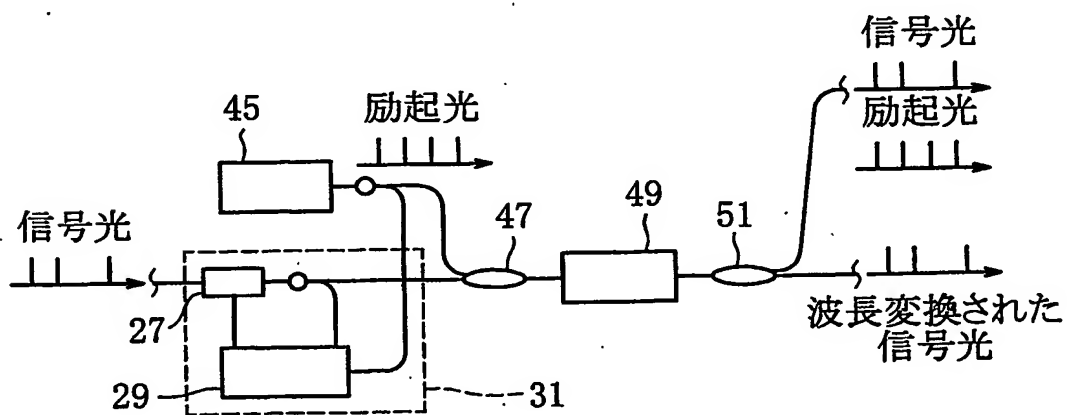
【図 2】



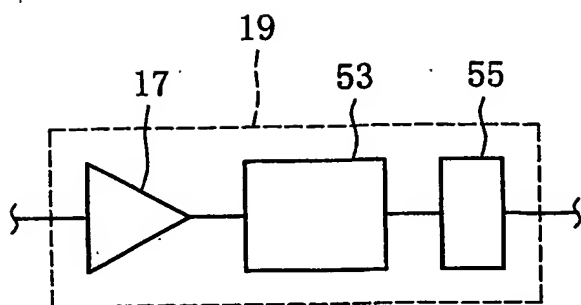
【図 3】



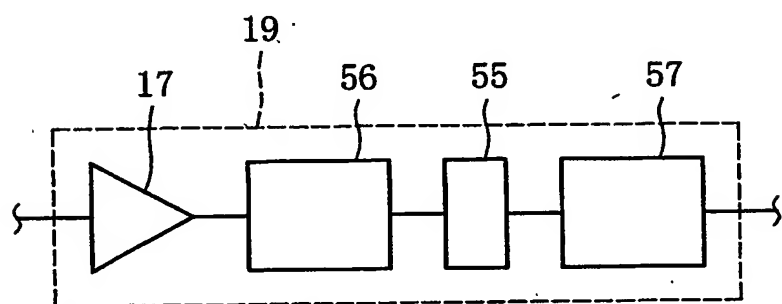
【図 4】



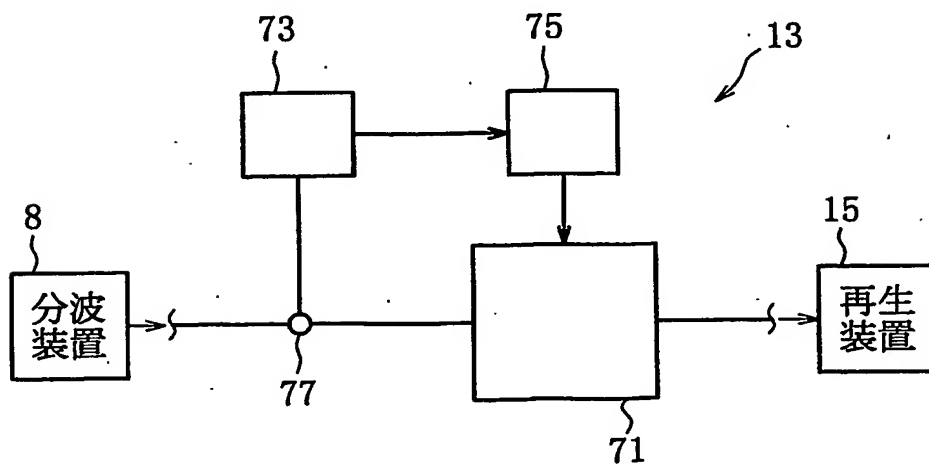
【図5】



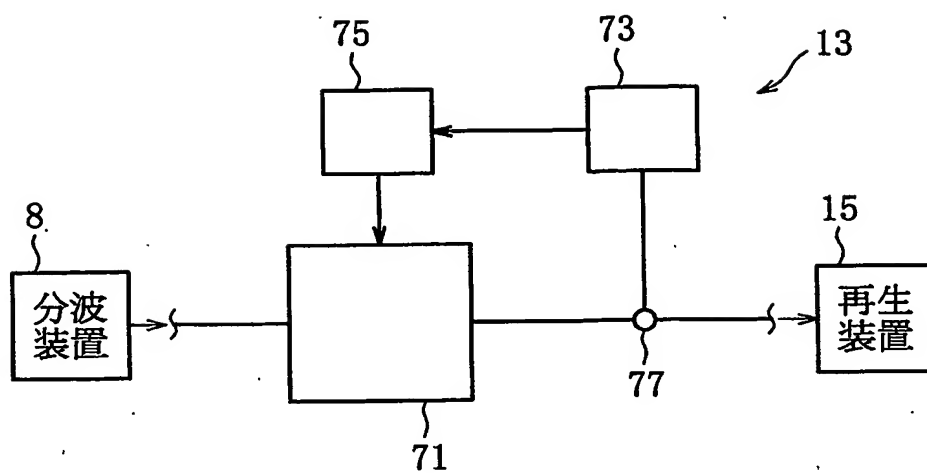
【図6】



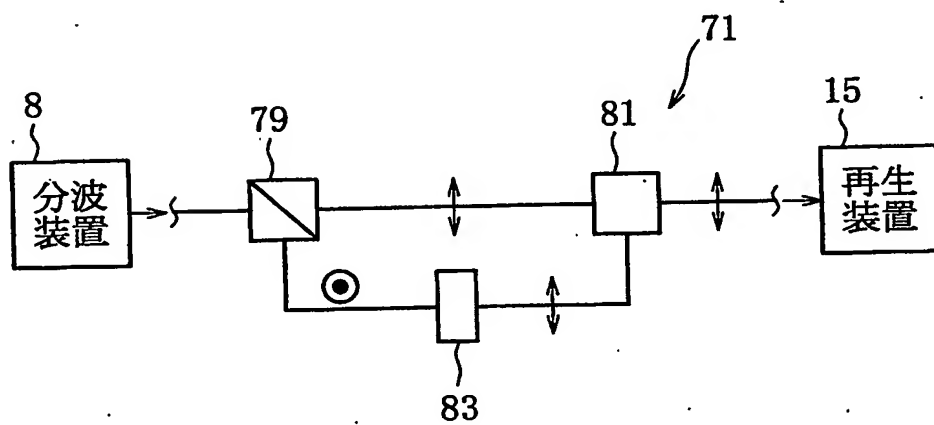
【図7】



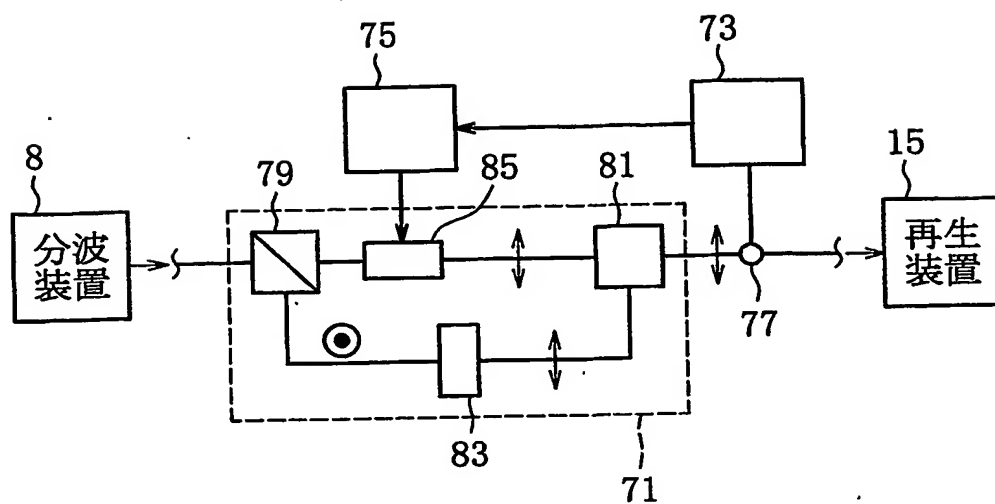
【図 8】



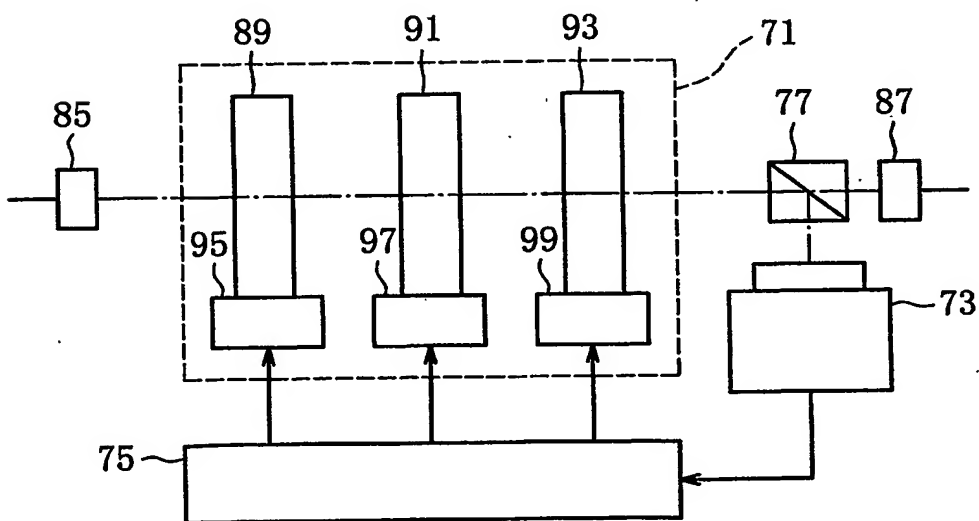
【図 9】



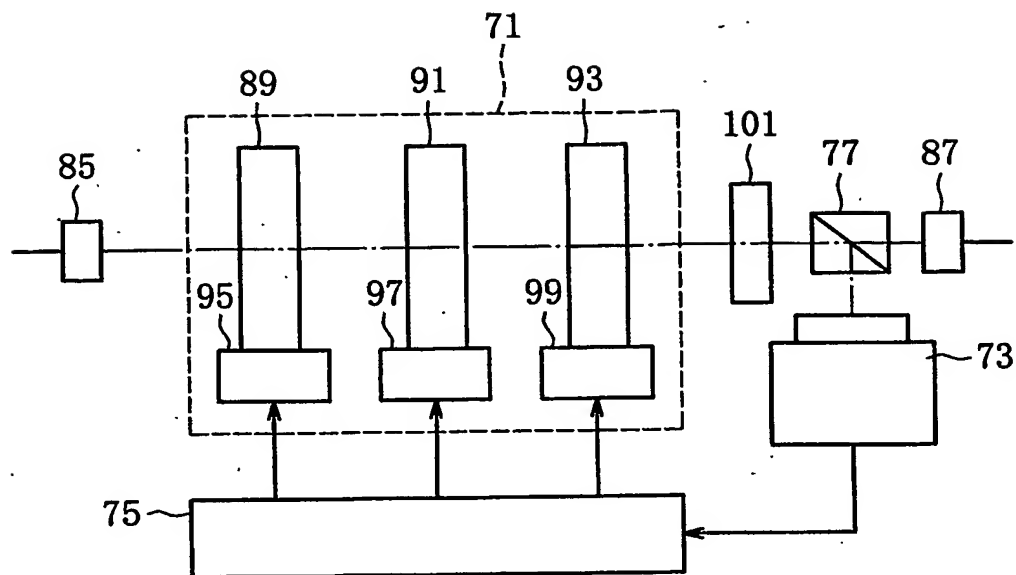
【図 1 0】



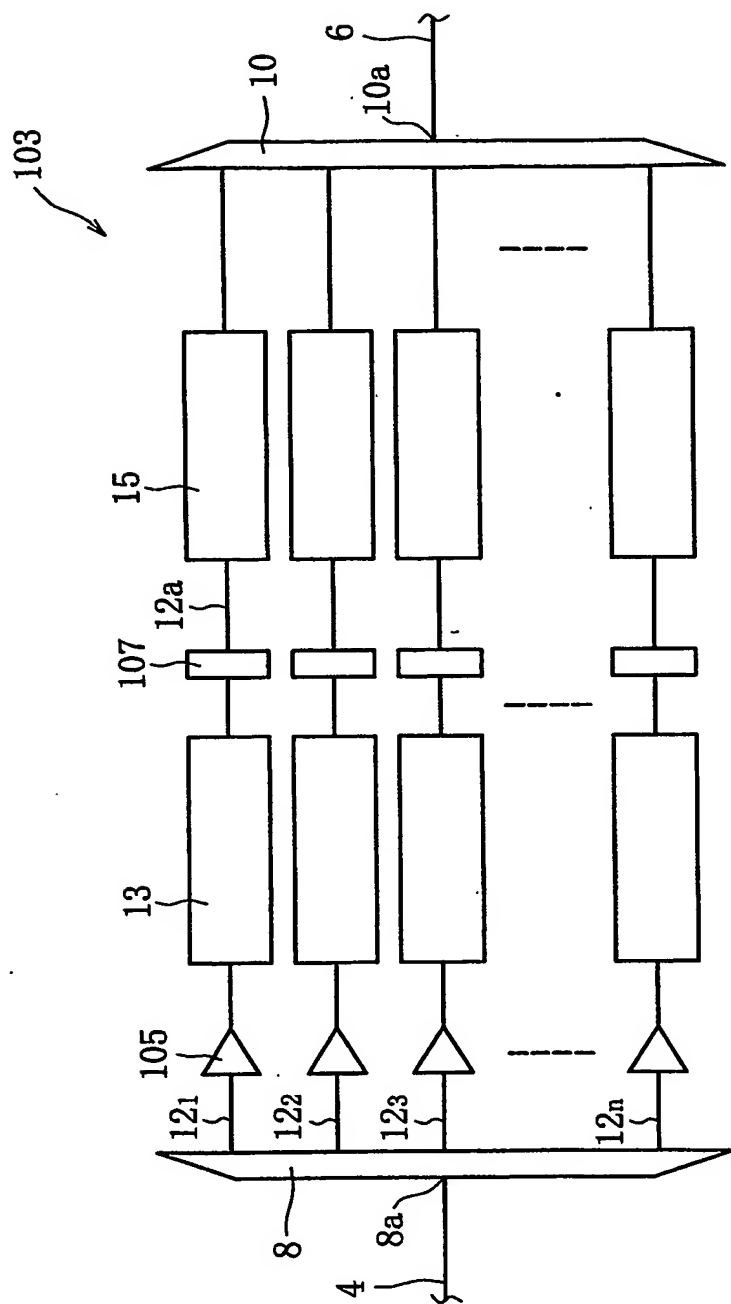
【図 1 1】



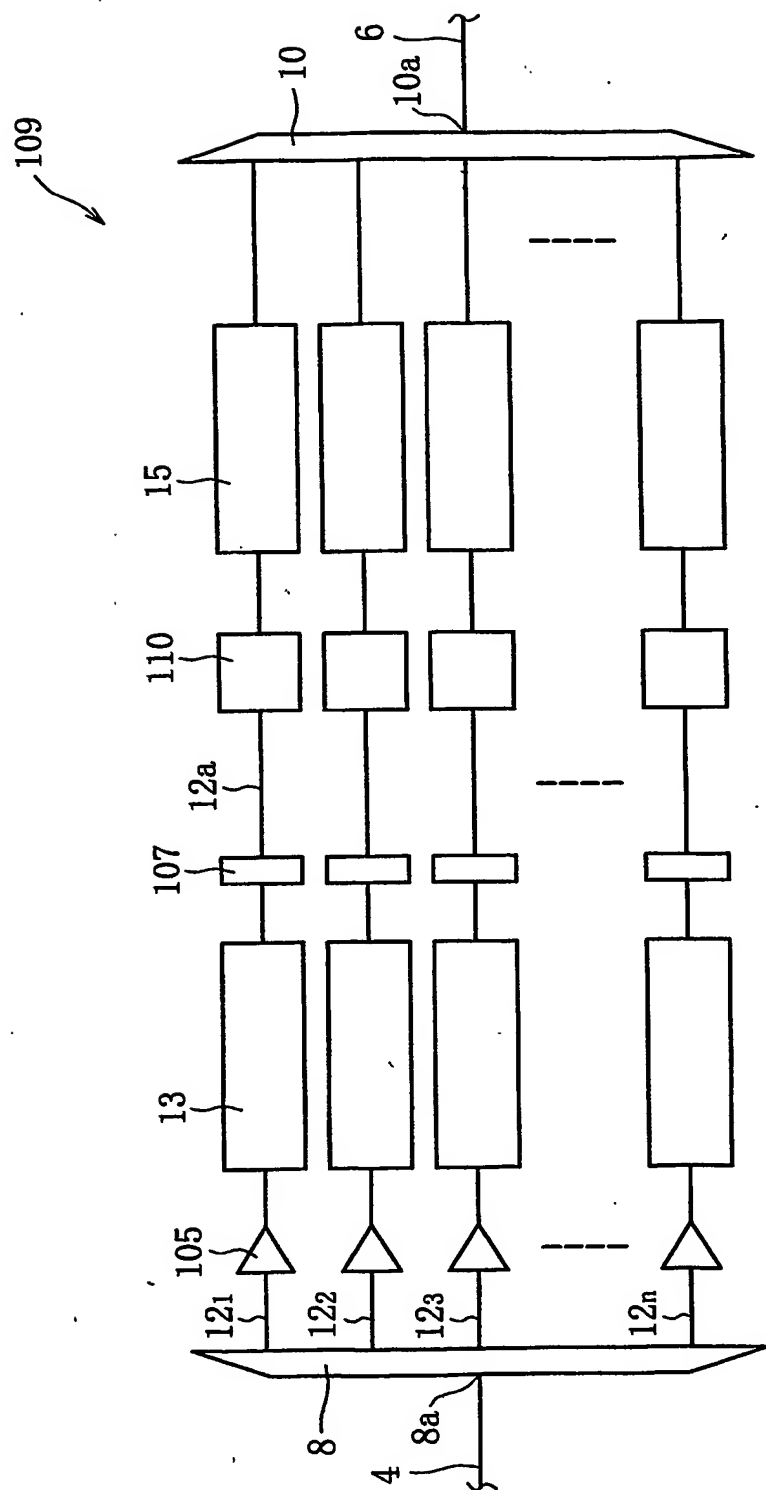
【図 12】



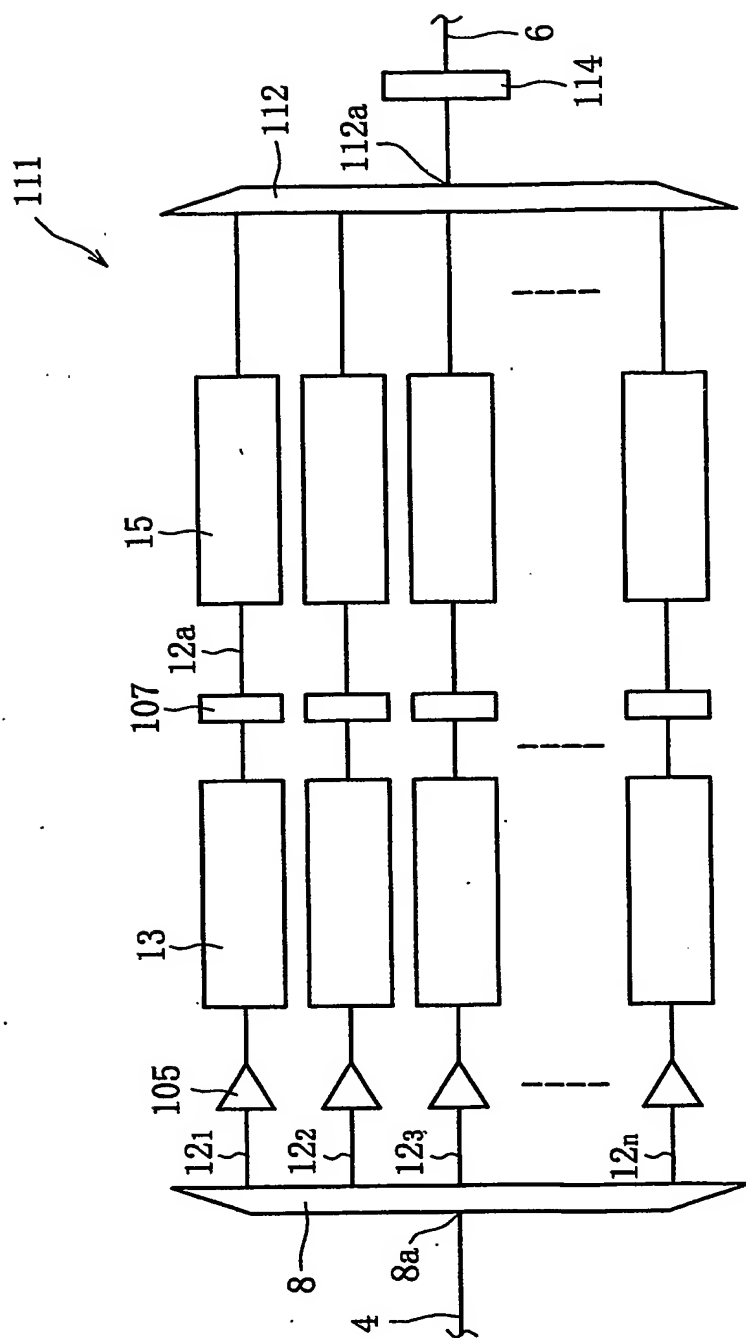
【図13】



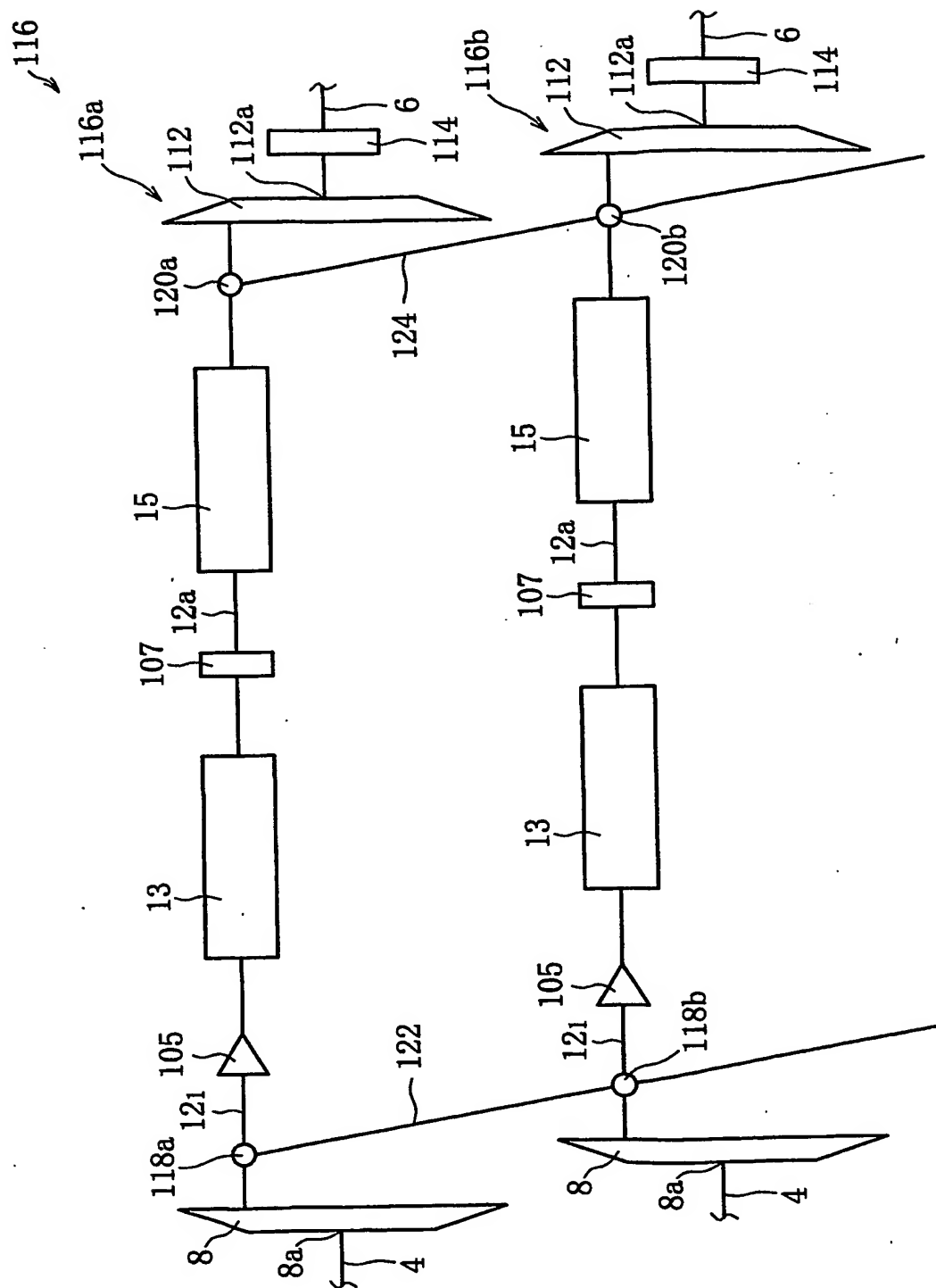
【図 14】



【図15】



【図16】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 大容量伝送、小型化及び省電力化が実施可能であり、かつ波長分割多重光を再生可能な波長分割多重光再生システム及び波長分割多重光再生方法の提供。

【解決手段】 信号光に非線形光学効果を利用した再生処理を施す波長分割多重光再生システムであって、互いに波長の異なる複数の信号光を含む波長分割多重光を前記波長毎に分波する分波装置 8 と、分波された前記複数の信号光のうち少なくとも一つの信号光の偏光状態を前記非線形光学効果に適した所望の偏光状態に偏光変換する偏波コンバータ 13 と、偏光変換された前記信号光に前記再生処理を施す再生装置 15 とを具備したことを特徴とする波長分割多重光再生システム。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005290]

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都千代田区丸の内2丁目6番1号
氏 名	古河電気工業株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.